

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-72636

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月16日

(51) Int.Cl.⁹

G 0 2 B 6/13

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

M

審査請求 未請求 請求項の数1 F D (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平9-249628

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月29日

(71) 出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1

(72) 発明者 各務 学

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72) 発明者 伊藤 博

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

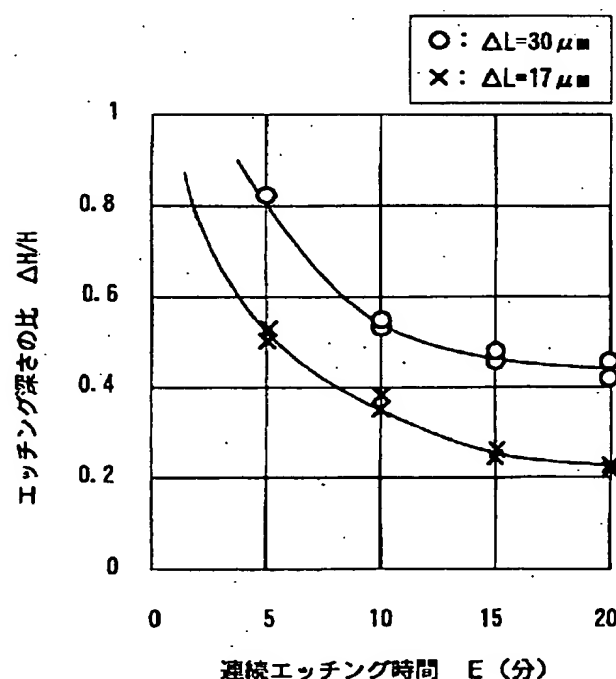
(74) 代理人 弁理士 藤谷 修

(54) 【発明の名称】 光導波路の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 光を多数分岐するための深さの異なる多数の反射溝を一度に精度良く形成すること。

【解決手段】 光導波路の材料に、熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きい材料を用い、エッチングの工程において、光導波路の温度を所定温度に上昇させることで、光導波路を基板に対して熱膨張させて、スリットの幅を制御する。このスリットの幅の制御により、スリット下に形成される反射溝のエッチング速度の平均値を制御することが可能となり、反射溝の深さを所望の値に正確に制御することが可能となる。このエッチング速度の平均値は、スリット幅の時間的変化やエッチング期間におけるスリットが完全に閉じている時間割合により決定される。溝の深さはスリット幅の初期値と温度で制御することができる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】基板上に形成された所定幅と所定厚さを有する光導波路において、スリットを有するマスクを用いて前記光導波路をエッチングすることで、伝送光の少なくとも一部を外部に反射させる反射溝を、前記所定幅方向に長さを有し、前記伝送光の伝搬方向に幅を有し、前記所定厚さ方向に深さを有する形状に形成する製造方法において、
前記光導波路の材料に、熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きい材料を用い、前記エッチングの工程において、前記光導波路の温度を所定温度に上昇させることで、前記光導波路を前記基板に対して熱膨張させて、前記スリットの前記幅を制御することで、前記溝の深さを所望の値に制御することを特徴とする光導波路の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光分岐機能を有した光導波路の製造方法に関する。詳しくは、光導波路に形成された反射溝により、伝搬光の一部を外部に分岐する光導波路に関し、反射溝の深さを正確に制御できる製造方法に関する。本発明は、光伝送路の短い区間で多数の光分岐を行う場合に、各反射溝の各深さを精密に制御する場合に、特に、有効である。

【0002】

【従来の技術】一度のドライエッチングにより深さの異なる溝を同時形成する方法として、Daeja Chin, Sang H. Dhong, and Glenn J Long, "Structual effects on a submicron trench process," J. Electrochem. Soc., p.1706 (1985)と、特開平7-318740号公報が知られている。

【0003】第1の方法は、エッチングマスクのスリット幅を $1\mu\text{m}$ 未満程度に非常に狭くした場合に生じるダイヴァージング・フィールド効果を利用した方法である。この方法でのエッチング速度は、スリット幅が広い場合に比べて4割程度遅くなり、同一エッチング時間では、溝の深さはスリット幅が広い場合に比べて4割程度浅くなる。

【0004】又、第2の方法は、ドライエッチングとウェットエッチングとを同時に行うことで、溝の幅と深さとを任意の値に制御可能として、所望の三角形状を断面とする溝を得る方法である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記の両方法は、エッチング深さの制御可能範囲が狭いという問題がある。即ち、深さの異なる溝を多数、一度に形成するには、スリットの幅を変化させて行うことになる。例えば、多数の溝の深さを0～光導波路の厚さの範囲で多段階的に連続して分布させる場合には、スリット幅もそれに応じて0から $20\mu\text{m}$ 程度の範囲で多段階的に連

2

続して変化させる必要がある。しかしながら、スリット幅を精密に狭くすることには限界があるため、このような深さの異なる多数の溝を一度に形成することは困難である。特に、上記の反射溝の形成において、スリットの幅は $0.2\mu\text{m}$ 以下とする必要が生じるが、フォトリソグラフでスリット幅を $0.2\mu\text{m}$ 以下とすることは困難である。

【0006】本発明は上記の課題を解決するために成されたものであり、第1の目的は反射溝の深さの制御を容易にすることであり、第2の目的は光を多数分岐するための深さの異なる多数の反射溝を一度に精度良く形成することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、基板上に形成された所定幅と所定厚さを有する光導波路において、スリットを有するマスクを用いて光導波路をエッチングすることで、伝送光の少なくとも一部を外部に反射させる反射溝を、所定幅方向に長さを有し、伝送光の伝搬方向に幅を有し、所定厚さ方向に深さを有する形状に形成する製造方法において、光導波路の材料に、熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きい材料を用い、エッチングの工程において、光導波路の温度を所定温度に上昇させることで、光導波路を基板に対して熱膨張させて、スリットの幅を制御することで、溝の深さを所望の値に制御することを特徴とする。

【0008】上記のスリット幅の制御は、エッチング工程において、温度によってスリット幅を0以外の当初の幅よりも狭い値に制御する場合の他、温度によってスリット幅を完全に0とする制御も含む。即ち、エッチング工程において、光導波路の温度を所定温度に上昇させて、スリット幅を完全に0とし、その後のエッチングにおいては、そのスリット下の反射溝のエッチングを停止させるようにしても良い。又、エッチング工程は連続的に行っても良いし、間に冷却工程を介在させたエッチングを繰り返しても良い。光導波路の温度の制御は、外部から基板を冷却、又は、加熱して行っても良い。又、エッチングにより光導波路の温度が上昇するので、1周期のエッチング時間や冷却時間を変化させることで、光導波路の温度を制御しても良い。即ち、エッチング時間のデューティ比制御により光導波路の温度を制御することが可能である。

【0009】要するに、光導波路の温度の制御方法により、スリット幅を時間に対してアナログ的に変化させたり、時間に対して開状態と閉状態とを繰り返すようにデジタル的に変化させることが可能である。いずれの場合においても、本発明は、実際にエッチングしている期間におけるスリット下の反射溝のエッチング速度の平均値を制御することで、反射溝の深さを制御することを要旨とする。そして、このエッチング速度の平均値は、スリット幅の時間的変化やスリットが完全に閉じている時

3

間割合により決定される。

【0010】スリットの形状としては、概略長方形で光導波路の幅方向に形成されている。又、スリットは光導波路の全幅に渡り形成されている方が、スリットが一部に形成されている場合よりもスリット幅の温度に対する変化率は大きい。よって、スリットは光導波路の全幅に形成されるのが望ましい。

【0011】本発明は、光導波路を形成するためのエッチングと反射溝を形成するためのエッチングとを、必ずしも、同一工程で行う必要はないが、所定のエッチング時間に対して反射溝の深さを所望値にすることができるので、同一工程に行うことが望ましい。又、本発明は、反射溝の深さを正確に制御する全ての光導波路の製造に応用でき、反射溝の深さは1種類でも良い。しかし、スリット幅の初期値により、反射溝の深さを所望の値に制御できるので、深さが段階的に連続して変化する多数の反射溝を有した多分岐光導波路の製造に特に有効である。

【0012】又、反射溝の深さは、スリット幅の初期値、隣接するスリット間の距離、基板と光導波路との熱膨張係数差、エッチング時の光導波路の温度によって決定される。即ち、上述したように、反射溝の深さは、反射溝における実効的なエッチング速度の平均値で決定されるが、そのエッチング速度の平均値は、スリット幅の初期値、隣接するスリット間の距離、基板と光導波路との熱膨張係数差、エッチング時の光導波路の温度によって決定することが可能である。

【0013】又、エッチングにより反射溝の形成後に、光導波路が体積収縮するような温度で加熱処理して、反射溝の反射面の方位を所定値に制御する工程を設けるのが望ましい。この工程により、伝搬光の反射方向を正確に所期の方向とすることができる。さらに、本光導波路は、光ファイバーと接続される場合もあるが、その場合には、光導波路又は光ファイバーの少なくとも一端をガラス転移点以上に加熱した後、両者を加圧接触することが望ましい。光導波路の光入出力端面は上記の熱処理により傾斜し、光ファイバーとの密着接触が困難となるが、このような処理により光導波路の光入出力端面と光ファイバーとを密着させることができ、伝送損失を低下させることができる。

【0014】上記の光導波路には、熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きいものであれば、全ての高分子有機材料を用いることができる。

【0015】

【発明の作用及び効果】本発明では、光導波路の材料に、熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きい材料を用いているので、エッチングの工程において、光導波路の温度を所定温度に上昇させることで、光導波路を基板に対して熱膨張させて、スリットの幅を制御することができる。このスリットの幅の制御により、スリット下に

4

形成される反射溝のエッチング速度の平均値を制御することが可能となり、反射溝の深さを所望の値に正確に制御することが可能となる。このエッチング速度の平均値は、スリット幅の時間的な変化やエッチング期間におけるスリットが完全に閉じている時間割合により決定される。

【0016】スリット幅は、スリット幅の初期値、隣接するスリット間の距離、基板と光導波路との熱膨張係数差、エッチング時の光導波路の温度によって決定することができるので、反射溝の深さはこれらの値を所定値に設定することで所定値を得ることができる。よって、溝の深さの異なる複数の反射溝を一度のエッチング工程で得ることができる。又、光導波路の形成と反射溝の形成を同一のエッチング工程で行うこともでき、製造が容易となる。

【0017】反射溝の深さが正確に制御可能となることから、反射溝の反射面の面積を正確に設定することが可能となり、分岐光の光量を正確に所定値に設定することができる。よって、複雑で多数の光分岐機能を有した光導波路の製造が容易となる。複雑な光回路の設計及び製造が容易となる。

【0018】又、反射溝を形成した後、光導波路が体積収縮する温度まで加熱処理することで、反射溝を形成する反射面の面方位を所定方位に設定することが可能となり、伝搬光の分岐方向を正確に設定することができる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。なお本発明は下記実施例に限定されるものではない。図1は、光分岐素子1の構造を示している。光分岐素子1は光導波路であるコア層10を有し、そのコア層10は周囲をクラッド層11で囲まれている。コア層10の光の伝搬方向であるx軸に垂直な断面は矩形形状をしている。このコア層10の一端に光ファイバ12の一端が接続されている。又、コア層10には、コア層10の幅方向(y軸)に長さを有し、コア層10の厚さ方向(z軸)に深さを有した反射溝20a、20b、20cが形成されている。それらの反射溝20a、20b、20cの深さは、x軸方向に沿ってそれぞれ深さが深くなっている。又、これらの反射溝20a、20b、20cにはクラッド層11と同一の物質が充填されている。

【0020】これらの反射溝20a、20b、20cにより、光ファイバ12からコア層10に入射した伝搬光L0は、反射溝20a、20b、20cの反射面21a、21b、21cにより、それぞれ、分岐光La、Lb、Lcとしてコア層10の外部に出力される。分岐比は、マルチモード伝走路の場合、コア層10のy軸断面の面積と反射面21a、21b、21cのy軸断面への正射影の面積との比に等しい。本実施例に係る製造方法はこのような光分岐機能を有した光導波路を製造する方

5

法である。本実施例では、反射溝20a、20b、20cの形成と、コア層10の成形とを同一の反応性イオンエッチング(RIE)工程で行っている。

【0021】次に、光分岐素子の製造方法について説明する。図2(a)に示すように、石英基板30上に、順次、ポリフルオロアルキルメタクリレートから成る厚さ20 μ mのアンダークラッド層111、ポリメチルメタクリレート(PMMA)から成る厚さ100 μ mのコア層10が、ディップコーティング法により積層成膜された。ディップコーティング法においては、ポリフルオロアルキルメタクリレートをメチルエチルケトン溶媒に14wt%溶解した溶液と、PMMAをモノクロロベンゼン溶媒とメチルイソブチルケトン溶媒の等重量比の混合溶媒中に24wt%溶解した溶液が、それぞれ、用いられた。

【0022】次に、コア層10の上に、厚さ1 μ mにAlが蒸着され、さらに、レジストが塗布されて、通常のフォトリソグラフィにより、レジストは導波路形状に形成された。この時、Al膜にスリットが形成される位置のレジストには幅がそれぞれ異なる複数のスリットが形成されている。次に、成形されたレジストをマスクとし、混合比を燐酸：酢酸：硝酸：水=16:2:1:1とするエッチング液を用いて、Al膜がエッチングされた。これにより、図2(b)に示すように、Alから成り、それぞれ、幅(x軸方向)の異なる複数のスリット32a、32b、32cの形成されたエッチングマスク31が得られた。

【0023】次に、エッチングマスク31を用いて、コア層10とアンダークラッド層111がエッチングされた。エッチングにはRIE法が用いられた。RIE法には、直径40cmのカソード電極を有する平行平板電極型の反応室が用いられ、エッチングガスとしてガス圧5Pa、流量50SCCMの酸素が用いられた。又、印加電力はRF周波数13.56MHz、200Wである。このエッチング工程により、図2(c)に示すような形状に形成されたコア層10とアンダークラッド層111が得られた。又、コア層10には、それぞれ、深さの異なる複数の反射溝20a、20b、20cが形成された。

【0024】本実施例は、上記のエッチング工程において、コア層10の温度を所定温度に上昇させて温度制御することで、各反射溝20a、20b、20cの深さ(z軸方向)を制御することを特徴とする。

【0025】次に、温度制御により各反射溝20a、20b、20cの深さを制御できる原理について説明する。図2(b)、(c)に示すように、25℃において、コア層10の端面10aからスリット32aまで間隔、スリット32a、32b、32c間のそれぞれの間隔、スリット32cからコア層10の端面10bまでの間隔(以下、これらの間隔を自由端面間隔という)を5mmとし、1つのスリット32aの幅(x軸方向)を10 μ mとし、コア層10の幅(y軸方向)を100 μ mとする。石英基板30の温度を上昇させた場合、x軸方向のスリッ

6

ト間隔5mmは、コア層10の幅100 μ mに比べて十分に長いので、コア層10の熱膨張によるx軸方向の伸び量は、y軸方向の伸び量よりも十分に大きい。従って、y軸方向の伸びは無視でき、x軸方向の伸びだけ考えれば良い。

【0026】ここで、コア層10のPMMAの熱膨張係数は約 $7 \times 10^{-5} \text{cm} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ であるので、温度上昇量が30℃の時、コア層10はx軸方向に長さ5mm当たりで10.5 μ m長くなる。これに対し、基板30の石英ガラスの熱膨張係数は約 $7 \times 10^{-7} \text{cm} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ であるので、膨張量は無視できる。従って、図3に示すように、コア層10は温度上昇によりコア層10の熱膨張により圧縮応力が生じ、反射溝20a、20b、20cの形成される表面部分では、各反射溝の幅(x軸方向)が狭くなることで圧縮応力が緩和される。RIEにより基板温度が25℃から55℃へと30℃上昇すると、コア層10にはx軸方向に長さ5mm当たりで10.5 μ mの線膨張量に相当する圧縮応力が発生するので、自由端面間隔5mm、幅10 μ mのスリット32aは、完全に閉じてしまう。スリット32aが完全に閉じてしまえば、その後は反射溝20aはエッチングされないで、その深さは大きくならない。結局、エッチング工程において、反射溝20aはスリット32aが開いている間だけ有効にエッチングされることになる。

【0027】RIE法の場合には、反射溝20aのz軸方向のエッチング速度は、スリット32aの開度がある値よりも小さな領域では、開度が小さくなる程エッチング速度は小さくなる。よって、このスリット32aの開度によって変化するエッチング速度のエンチング時間に関する平均値を制御することで、反射溝20aの深さを制御することが可能となる。スリット32aの開度は、スリットの初期幅、自由端面間隔、基板30とコア層10との間の熱膨張率の差、エッチング工程におけるコア層10の温度の過渡変化及び安定温度に依存する。よって、光分岐素子1の設計規格によって決定される自由端面間隔、基板30とコア層10の熱膨張率を考慮して、スリットの初期幅を適正に設定し、エッチング工程におけるコア層10の温度を制御することで、反射溝20aの深さを制御することが可能となる。尚、各反射溝20a、20b、20cは同一エッチング工程で製造され、各部分の温度を個別に制御することはできないので、スリット32a、32b、32cの各初期幅を適正に設定することで各反射溝の各深さの制御が可能となる。

【0028】本発明の1つの制御方法は、エッチング工程において、反射溝20a、20b、20cがそれぞれの所定深さまでエッチングされた時に、各スリット32a、32b、32cが完全に閉じてしまうように、各スリットの初期幅を設定し、基板30の温度を制御することである。尚、各スリット32a、32b、32cが完全に閉じるためには、各スリットは、コア層10の全幅

7

(y 軸)に渡り形成され、端面 10a、10b に平行に形成されている必要がある。

【0029】次に、反射溝のエッチング速度の時間平均値を制御するのに、連続してエッチングする他、所定時間のエッチング期間と所定時間の冷却期間とを 1 周期としてこれを繰り返してエッチングするようにしても良い。次に、このような繰り返しエッチングにより反射溝 20 を形成し、その反射溝 20 の深さとエッチング時間との関係を測定した。図 4 に示すように、自由端面間隔が 5mm、25℃における初期幅 ΔL を 17 μ m と 30 μ m とする 2 つのスリットを形成した試料を準備した。反射溝 20 におけるエッチングの深さ ΔH は、比 $\Delta H/H$ で評価した。尚、H は、図 4 に示すように、基板 30 の面 30a が露出するまでのコア層 10 とアンダークラッド層 11 の総合した膜厚であり、 $H=120\mu$ である。この膜厚 H だけエッチングが完了された時をエッチング終了時とした。エッチングは、連続エッチング時間 $E=5\sim 20$ 分と、電力の印加を停止した自然冷却時間 $C=12$ 分とを 1 周期とし、この周期を繰り返すことで行われた。基板 30 は、カソード電極と接触しており、このカソード電極は温度 25℃の循環水で一定温度に保持されている。基板面 30a が露出するまでの、120 μ m の厚さのコア層 10 とアンダークラッド層 11 をエッチングするには、エッチングの積算時間（時間 E の累積値）で約 450 分を要した。従って、エッチングの繰り返し回数は、 $450/E$ である。このようなエッチングにおいて、連続エッチング時間 E と比 $\Delta H/H$ との関係を測定した。その結果を図 5 に示す。

【0030】図 5 から理解されることは、スリット幅 ΔL が同一であれば、連続エッチング時間 E が増加するに伴い、反射溝 20 の深さ ΔH が小さくなること、連続エッチング時間 E が同一であれば、スリット幅 ΔL が大きい程、反射溝 20 の深さ ΔH が大きくなることである。この理由は次のように考えられる。RIE 法は被エッチング材料であるコア層 10 がプラズマ近くに配置されるため、連続エッチング時間 E と冷却時間 C との比が変化すると、コア層 10 の実際にエッチングされている期間（連続エッチング時間 E だけを集合させた期間）における平均温度が変化する。現実には、20 分間の連続エッチング時間 E において、コア層 10 の表面温度は、25℃から 60℃程度まで上昇するものと推測される。又、スリット幅 ΔL は上述したように、コア層 10 の温度に依存して変化し、スリット幅 ΔL が狭くなれば、反射溝 20 のエッチング速度は低下する。従って、エッチング速度の実際のエッチング期間における時間平均値はコア層 10 の実際のエッチング時間における平均温度が高くなる程、低下する。このような理由から図 5 に示す特性が得られる。尚、スリット幅が所定値よりも狭い領域では、スリット幅が狭くなる程、エッチング速度が低下するのは、ダイバーゼン・フィールド効果のためである。

8

【0031】このように、図 5 の測定結果から、スリットの初期幅とエッチング期間における温度を変化させることで、反射溝 20 の深さを任意の値にすることが可能となることが理解される。図 5 から分かるように、スリットの初期幅 ΔL が 17 μ m の時、連続エッチング時間を 5 ~ 20 分に増加することで、比 $\Delta H/H$ を 0.52 から 0.22 まで、 ΔH を 62.4 μ m から 26.4 μ m まで変化させることができ、スリットの初期幅 ΔL が 30 μ m の時は、比 $\Delta H/H$ を 0.82 から 0.45 まで、 ΔH を 98.4 μ m から 54 μ m まで変化させることができることが分かる。又、スリットの初期幅を 30 μ m から 17 μ m と約 0.57 倍に狭くすることで、比 $\Delta H/H$ を連続エッチング時間 E が 5 分で 0.82 から 0.52 へと約 0.63 倍に小さく、連続エッチング時間 E が 20 分で 0.45 から 0.22 へと約 0.49 倍に小さくすることができることが分かる。

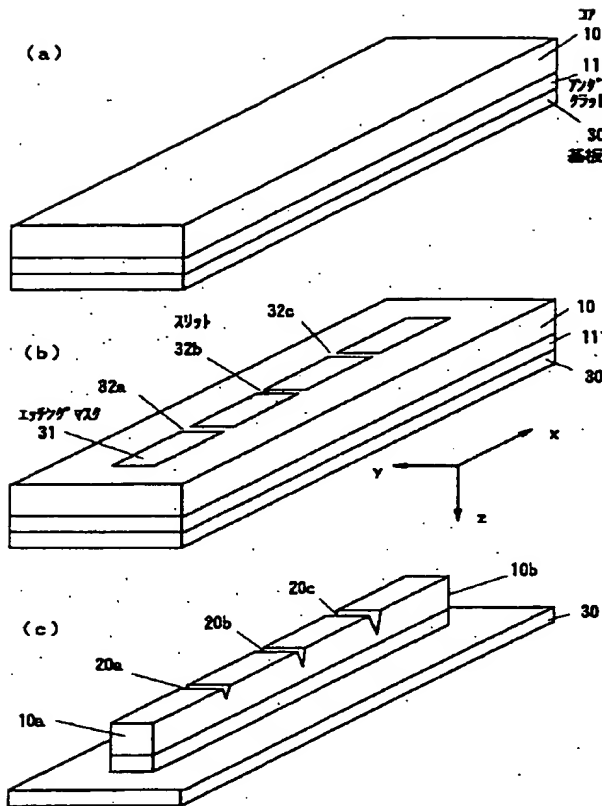
【0032】尚、連続エッチング時間 E が 20 分の間に、コア層 10 の温度は約 35℃だけ上昇し、初期幅 17 μ m、30 μ m のスリットは、それぞれ、スリット幅 5 μ m、18 μ m になり、完全に閉じていない。しかし、コア層 10 の温度を 49℃、86℃だけ上昇させれば、それぞれ、初期幅 17 μ m、30 μ m のスリットを完全に閉じることができる。スリットを開状態と閉状態とで 2 値的に変化させても、開状態のデューティ比と開状態のスリット幅により反射溝 20 のエッチング速度を変化させることができる。コア層 10 の温度の制御方法は、上記のように、連続エッチング時間 E と冷却時間 C との比を変化させる他、外部からの熱源により制御するようにしても良い。又、エッチング期間と冷却期間とを 1 周期として繰り返すことでエッチングしているが、スリットの初期幅 ΔL とコア層 10 の温度変化で反射溝 20 の深さが決定されるので、1 回の連続エッチングでこれを行うことも可能である。又、1 回の連続エッチングにおいて、コア層 10 の温度を時間経過に対して漸増させて、各スリットが開状態となる各時期を制御することで、反射溝 20 の各深さを制御するようにしても良い。

【0033】上述の方法で製造された反射溝 20 は、表面の凹凸が大きく、図 6 に示すように、反射面 21 の傾き $\theta/2$ も小さい。よって、表面を平滑にし、反射面 21 の傾きを所定角度に大きくすることが必要となる。そこで、コア層 10 の材料のガラス転移点（PMMA の場合、約 105 度）以上の温度で熱処理することにより、コア層 10 の材料の表面張力と体積収縮により、反射面 21 の平滑化と傾斜角の調整を行うことができる。図 6 に示すように、エッチングマスクを除去したコア層 10 は熱処理温度によって深さを不変にして反射面 21 の角度 $\theta/2$ が変化する。

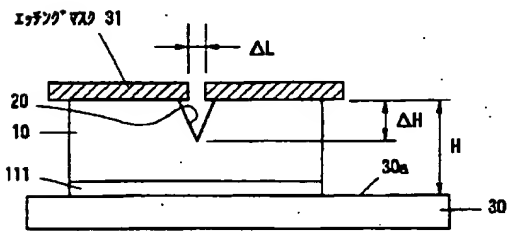
【0034】熱処理による反射面 21 の角度 $\theta/2$ を測定するために次の実験を行った。自由端面間隔 3mm、スリット幅 ΔL を 10 $\sim 25\mu$ m の範囲で変化させた多数のスリットをコア層 10 の上に形成して、エッチングした。連

10

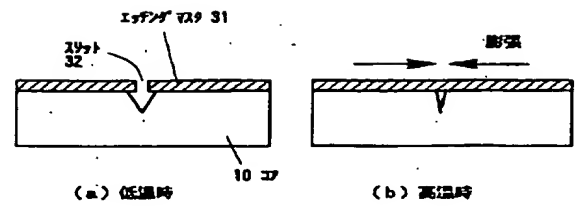
【図 2】



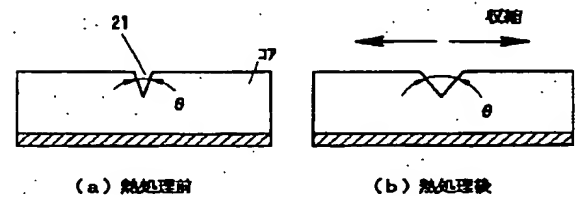
【図 4】



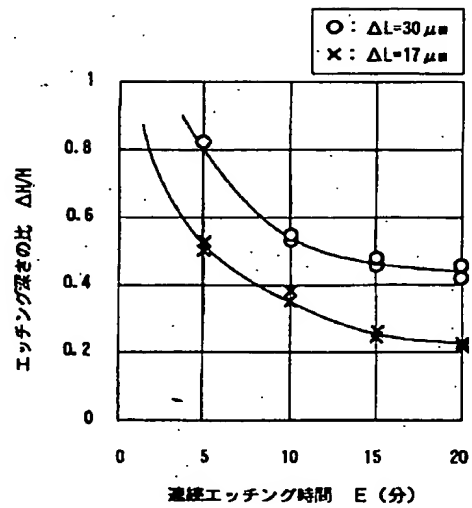
【図 3】



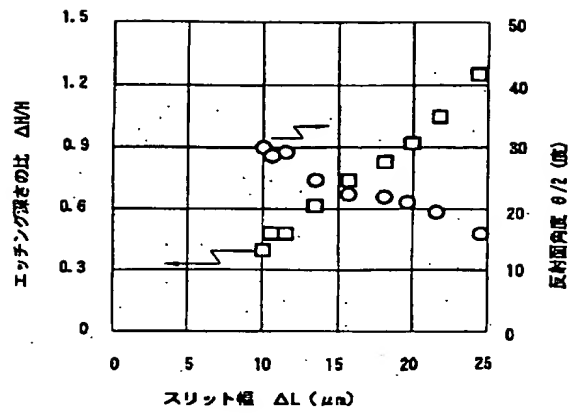
【図 6】



【図 5】



【図 7】



【図 8】

